

Verzuring van de oceaan

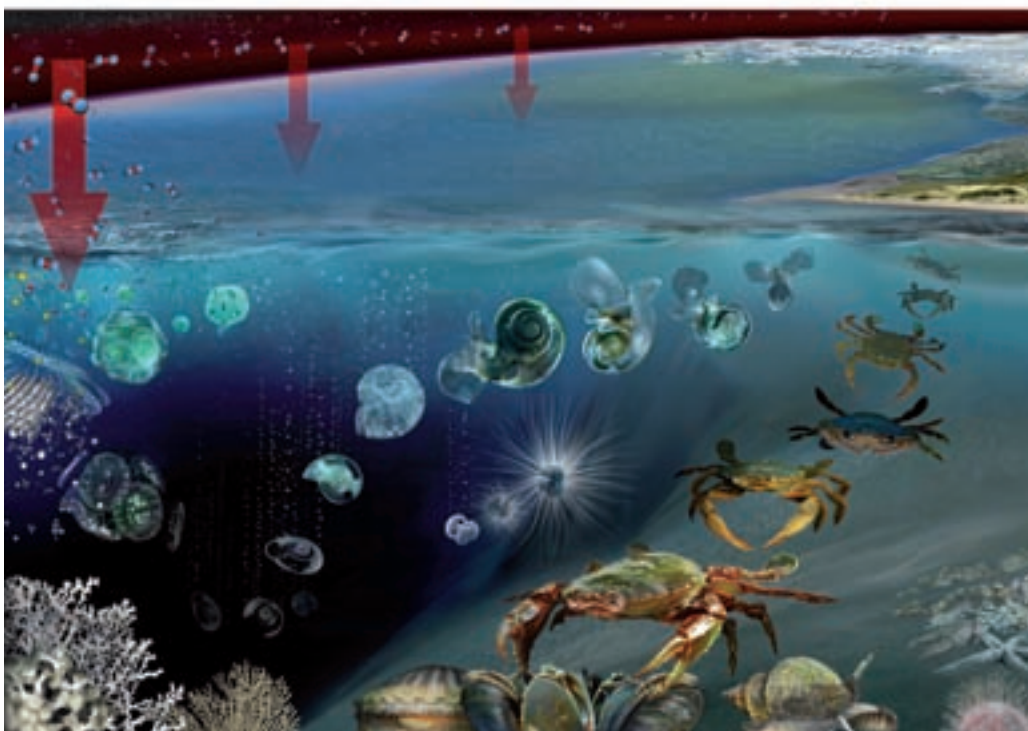
Jan Seys & Lieselot Verduyn

Sommige wereldproblemen dringen maar moeizaam door tot het collectief geheugen, ook al aanzien wetenschappers ze als zeer belangwekkend. Zo heeft het decennia geduurd vooraleer de klimaateffecten aangestuurd door een verhoogde CO_2 -uitstoot in hun volle ernst werden ingeschat. En zo lijkt het ook nu het geval voor het “andere CO_2 -probleem”, de verzuring van de oceaan. Onze oceaan neemt zo veel CO_2 of koolzuurgas op dat ze al met 26% is verzuurd. Intussen beseft de goegemeente nauwelijks wat er aan de hand is en hoe verstrekkend en onherstelbaar de gevolgen hiervan wel kunnen zijn...

Eerst de feiten

De aanwezigheid van koolstofdioxide (CO_2) in onze atmosfeer is op zich geen probleem. Levende organismen ademen nu eenmaal CO_2 uit, en ook bosbranden en vulkaanuitbarstingen dragen bij tot CO_2 uitstoot. Een probleem wordt het pas als door toedoen van de mens de concentraties van koolstofdioxide (CO_2) kunstmatig gaan toenemen ver boven hun natuurlijke waarden. En dat is nu net wat de moderne mens aan het doen is. Onder andere door sinds de Industriële Revolutie massaal fossiele brandstoffen (olie, gas, steenkool,...) te gaan verbranden, zijn we erin geslaagd de CO_2 concentraties in de atmosfeer op te drijven tot 400 ppm (aantal deeltjes per miljoen), daar waar die de laatste 500.000 jaar nooit hoger kwam dan 280 ppm. Gevolg: de isolatiedeken die deze gaslaag vormt rond onze planeet, werkt té goed (het “versterkte broeikaseffect”) en het klimaat verandert sneller dan van nature het geval zou zijn.

Een tijd lang bleef dit effect deels gemaskeerd dankzij de groene long en het blauwe hart van onze planeet. Planten nemen immers jaarlijks – in wat we de bladgroenwerking of fotosynthese noemen – 123 miljard ton koolstof op in de vorm van CO_2 om hun eigen bouwstenen te vormen. En de wereldzeeën slopten al die tijd 30% van de totale door de mens uitgestoten hoeveelheid CO_2 op, in een constante uitwisseling van CO_2 tussen de oceaan en de atmosfeer. De oceaan hielp ons, door dagelijks zowat 24 miljoen ton CO_2 te absorberen, al die tijd in het milderen van de gevolgen van de CO_2 uitstoot.



■ Het probleem van de verzuring van de oceaan is nog nauwelijks doorgedrongen tot het collectief bewustzijn. Toch vrezen wetenschappers dat de toename van de zuurtegraad, vandaag al 26% ten opzichte van pre-industriële waarden, een grote impact zal hebben op de 71% van het aardoppervlak dat met zeewater is bedekt. Op het beeld zijn allerlei levensvormen getoond die dreigen beïnvloed te worden (koralen, vleugelslakken, coccolithoforen, zeesterren, schelpen, krabben, etc...)[Glynn Gorick]

Maar de maat lijkt vol. De 40% toename in atmosferisch CO_2 sinds de start van het industriële tijdperk veroorzaakt intussen een niet langer te loochenen klimaatwijziging. En ze heeft ook de oceaan 26% zuurder gemaakt, met gevolgen die intussen her en der de kop beginnen op te steken.

Een beetje chemie

Verschuiving in evenwicht

Sterk vereenvoudigd en kort door de bocht kan men stellen dat een zee die meer koolzuurgas opneemt, verzuurt. Wat er echt gebeurt is een stuk complexer en het gevolg van een verschuiving in het chemisch evenwicht. Wanneer koolstofdioxide (CO_2) in water (H_2O) terecht komt lost het op en vormt het waterstofcarbonaat (H_2CO_3).

Dit carbonaat heeft echter zwakke bindingen en zal één of twee waterstofionen (H^+) afscheiden. Door de hogere concentratie aan waterstofionen zal de pH van het water

dalen en dus zuurder worden. Hierdoor is de concentratie aan waterstofionen in de wereldzeeën gemiddeld al met 26% gestegen sinds het begin van het industrieel tijdperk (= op de pH-schaal gedaald van 8,25 naar 8,14). Bij ongewijzigd beleid verwacht men tegen 2060 een verdere daling in pH met 0,14-0,35 eenheden of een verzuring tot 120% (tegen 2100: + 171%). Stel dat we alle fossiele brandstoffen opgebruiken, wat gezien de gretigheid waarmee we leven niet ondenkbaar is, dan voorspelt men zelfs een pH-daling van 0,7. Indien we dit laten gebeuren zal de oceaan duizenden of misschien wel tienduizenden jaren in deze verzuurde status blijven. Een dergelijke verzuring is tien keer sneller dan wat onze planeet gekend heeft in de afgelopen 55 miljoen jaar.

Eén van de belangrijkste gevolgen van deze verzuring heeft dan weer te maken met een verminderde beschikbaarheid aan carbonaat (CO_3^{2-}). Door de hoger geschetste evenwichtsverschuiving zal dit carbonaat minder voorhanden zijn omdat het bindt

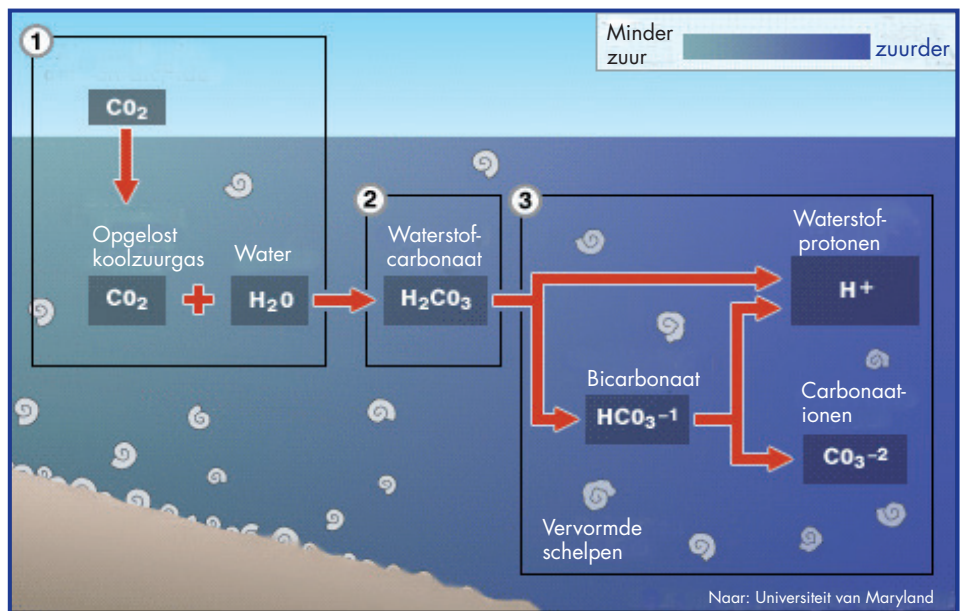
De pH-schaal voor zuurtegraad

Voor een goed begrip is het belangrijk even stil te staan bij wat bedoeld wordt met zuurtegraad en bij hoe die wordt uitgedrukt. Iedere oplossing heeft een bepaalde zuurtegraad of pH. De 'p' staat voor het Duitse Potenz (kracht/macht), de 'H' voor het waterstofion (H^+). De pH is met andere woorden een maat voor de concentratie aan waterstofionen. Hoe meer H^+ , hoe zuurder de oplossing. Hoe minder H^+ , hoe minder zuur of hoe meer basisch de oplossing. Zuurtegraad wordt uitgedrukt op een schaal van 0 (extreem zuur) tot 14 (extreem basisch). Hoe lager de pH, hoe zuurder de oplossing is. Puur water heeft een pH van 7 en noemen we 'neutraal'. De pH-schaal is logaritmisch wat betekent dat iedere daling/stijging met één eenheid overeenstemt met een 10-voudige afname/toename aan waterstofionen. Zo is zeewater, met een pH iets hoger dan 8, bij benadering tien keer minder zuur dan zuiver (zoet)water. Wanneer men over verzuring spreekt bedoelt men dus niet dat de oceaan zuur is, maar dat ze zuurder wordt. Verzuring zal je dan ook in de verre toekomst niet proeven wanneer je een verse slok zeewater binnen krijgt!

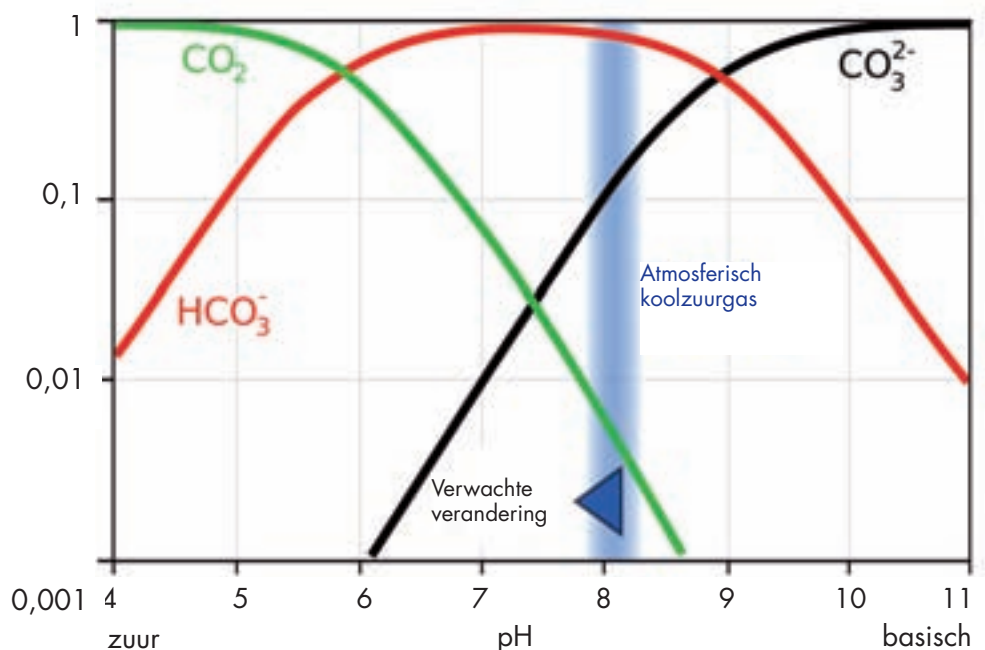
Concentratie H^+ -ionen vergeleken met gedestilleerd water

10.000.000	pH 0	batterijzuur (zwavelzuur)
1.000.000	pH 1	chloorzuur
100.000	pH 2	citroensap, azijn
10.000	pH 3	pompelmoes, frisdrank
1.000	pH 4	tomatensap, zure regen
100	pH 5	zwarte koffie
10	pH 6	urine, speeksel
1	pH 7	zuiver water
1/10	pH 8	zeewater
1/100	pH 9	baksoda of natriumbicarbonaat
1/1.000	pH 10	Dode Zee
1/10.000	pH 11	amoniak
1/100.000	pH 12	zeepsop
1/1.000.000	pH 13	bleekmiddel
1/10.000.000	pH 14	ontstopper

■ De zuurtegraad of de pH wordt uitgedrukt op een schaal van 0 (extreem zuur) tot 14 (extreem basisch). Zuiver water heeft een neutrale pH van 7. Hoe lager de pH, hoe meer waterstofionen een oplossing bevat en hoe zuurder de oplossing is (http://pre.docdat.com/pars_docs/refs/187/186217/186217_html_m501dcc22.png)



■ Bij verzuring van de oceaan treedt een chemische evenwichtsverschuiving op, die leidt tot meer waterstof ionen (H^+) en een verminderde beschikbaarheid van carbonaat (CO_3^{2-}) (op basis van <http://theotherco2problem.files.wordpress.com/2009/11/ocean-chemistry.gif>)



■ Op dit zogenaamde Bjerrum-plot is goed te zien hoe de concentraties aan CO_2 , bicarbonaat HCO_3^- en carbonaat CO_3^{2-} veranderen onder invloed van de zuurtegraad. Wanneer bijvoorbeeld de pH van de oceaan daalt van 8,25 naar 8,14, dan stijgt de concentratie aan bicarbonaat maar vermindert de beschikbaarheid aan het voor zoveel dieren broodnodige carbonaat (wikipedia)

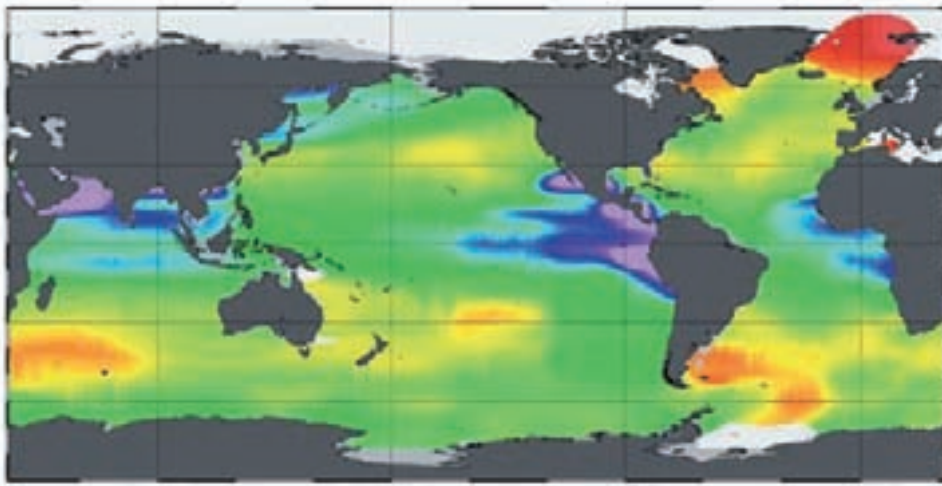
met de talrijker wordende H^+ ionen. Waarom minder carbonaat in de oceaan een probleem is en het ganse ecosysteem van de zeeën dreigt te ontwrichten, komt verder aan bod.

Is de zuurtegraad van zeewater overal gelijk?

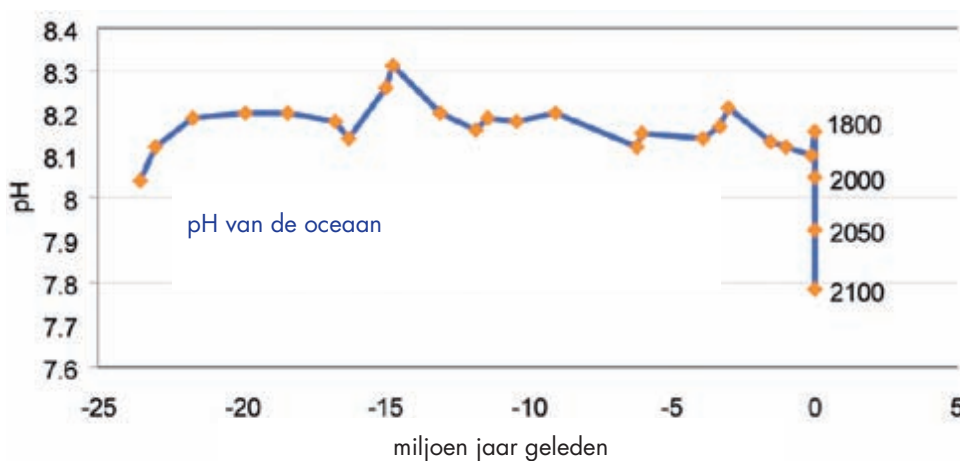
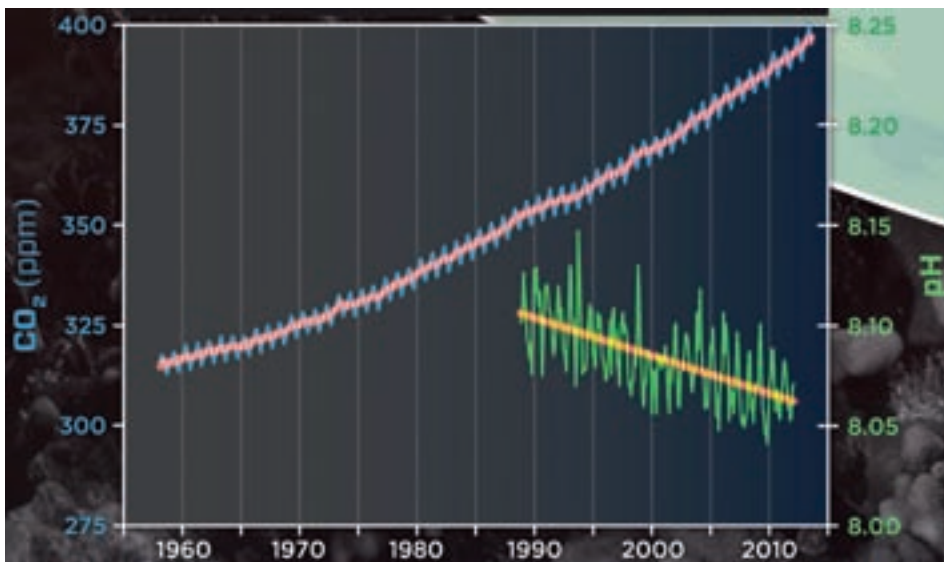
De oceaan heeft dan wel een gemiddelde pH van 8,2, maar lichte schommelingen tot $\pm 0,3$ eenheden zijn ook vandaag geen uitzondering (zie kaart p. 19). De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn verschillen in watertemperatuur, plaatselijke opwelling van diep oceaanoewater en algenbloei.

Hoe lager de temperatuur van het oppervlaktewater, hoe meer CO_2 wordt

opgenomen en hoe zuurder het water wordt. Dit komt omdat de oplosbaarheid van CO_2 daalt met een stijgende temperatuur. Omgekeerd zal een hogere temperatuur dus voor een lagere CO_2 -opname zorgen en een hogere pH. Als gevolg hiervan is het zeewater aan de polen gemiddeld zuurder dan in tropisch/subtropische gebieden. Anderzijds zal algenbloei juist leiden tot een hogere pH of dus een lagere zuurtegraad. Het plantaardige plankton zal op de piek van zijn groei immers heel wat CO_2 wegvangen uit het omringende water. Wanneer een deel van dit biologisch materiaal na sterfte vervolgens in de diepe oceaan wordt afgebroken, komt heel wat CO_2 vrij,



■ De zuurtegraad in de oppervlaktelaag van de oceaan (bovenste 50 m) in 1994. De laagste pH werd waargenomen in opwellingsgebieden zoals aan de westkusten van Afrika en Zuid-Amerika, waar dieper water met een lagere pH naar het oppervlak wordt gebracht. De hoogste waarden komen voor in regio's met een hoge biologische productie waar opgeloste koolstofdeeltjes door fytoplankton worden gefixeerd (<http://theotherco2problem.files.wordpress.com/2009/11/ocean-chemistry.gif>)



■ De zuurtegraad van de oceaan kende nooit eerder in de voorbije 25 miljoen jaar een evolutie als vandaag (onder). Vooral de snelheid waarmee de verzuring plaatsvindt is alarmerend (<http://www.ocean-acidification.net/FAQacidity.html>). Sinds 1990 worden ook regelmatige pH-metingen uitgevoerd op het Aloha meetstation in Hawaii (midden). Deze tonen een duidelijke daling in reactie op een stijgende concentratie aan atmosferische CO_2 (www.ocean-acidification.net)

waardoor de pH hier in de diepte gaat dalen. Als dan op bepaalde plekken in de oceaan dit CO_2 -rijke water opwelt en terug het oppervlak bereikt, ontstaan daar gebieden met een verhoogde zuurtegraad.

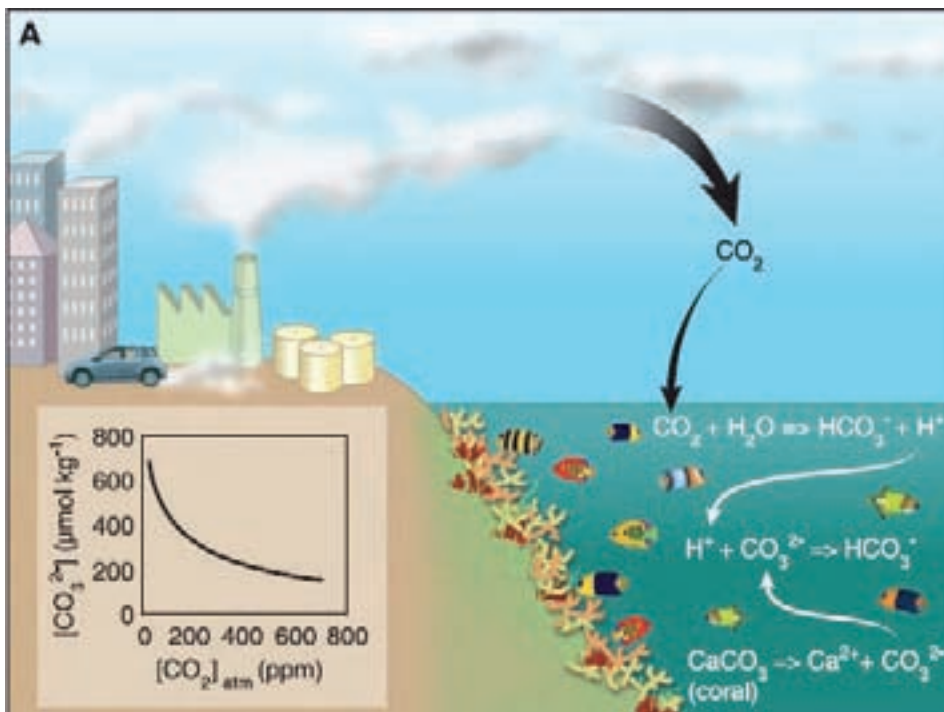
Niets nieuws, of toch?

Hoewel concentraties aan atmosferisch CO_2 de afgelopen 500.000 jaar stevast lager lagen dan vandaag, zijn er wel degelijk periodes verder in het verleden bekend met dramatisch hogere CO_2 gehalten. Zo zouden atmosferische CO_2 concentraties 100 miljoen jaar geleden wel 3-10 keer hoger gepeikt hebben dan vandaag! Toch illustreren klimaatreconstructies dat het weinig waarschijnlijk is dat de pH van de oceanen toen even diep en snel is gezakt als vandaag het geval is. Hoe kan dit? Waarom verzuren de zeeën vandaag wel onder invloed van verhoogde CO_2 concentraties, en deden ze dat vroeger in veel mindere mate? Het grote verschil zit hem kennelijk in de snelheid waarmee de CO_2 toename gebeurt. De snelste toenames die men door meting van luchtballen in fossiel ijs heeft kunnen waarnemen, bedroegen steeds minder dan 100 ppm, situeerden zich telkens op het einde van ijstijdperiodes en namen duizenden jaren in beslag. Omdat er veel tijd over ging konden de vrijgekomen waterstofionen zich geleidelijk aan binden aan het door erosie en rivieraanvoer geleverde carbonaat. Vermits de toename vandaag groter en vooral veel sneller is, krijgt de natuur geen kans om zich aan te passen en kunnen de hogere H^+ - en de lagere carbonaatgehalten niet tijdig worden weggewerkt. En toch, toen 55 miljoen jaar terug wel sprake was van een belangrijke verzuring (maar nog steeds een factor tien trager dan vandaag), tonen klimaatreconstructies dat er uitstervingsgolven plaatsvonden onder kalkvormende organismen. We mogen ons dus wel aan het een en ander verwachten...

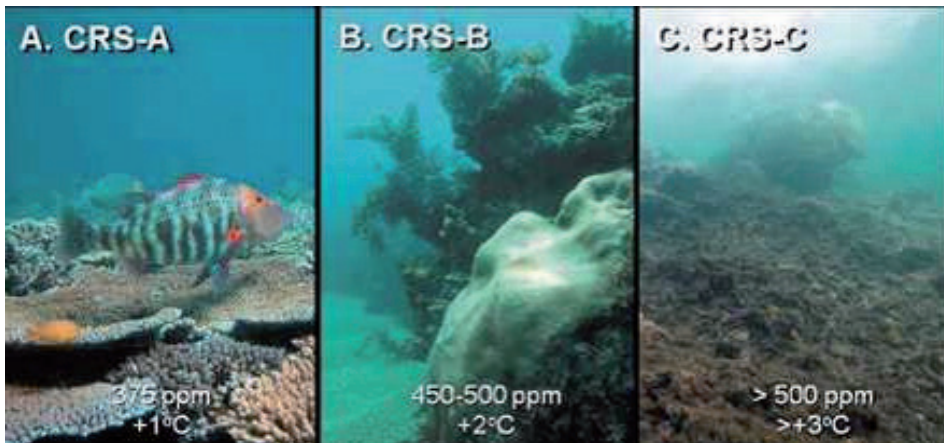
Gevolgen verzuring

Kalk en zuren gaan niet goed samen

Je voelt het waarschijnlijk al aankomen, verzuring voorspelt niet veel goeds. Het grootste probleem van de oceaanverzuring lijkt de afname van carbonaat (CO_3^{2-}) in het zeewater te zijn. Dit komt omdat de vrijgekomen waterstofionen gaan binden met carbonaat waardoor dit carbonaat niet meer beschikbaar is om calciumcarbonaat ("kalksteen" of CaCO_3) te vormen. De twee belangrijkste vormen van calciumcarbonaat zijn aragoniet en calciet en worden door zowat de helft van alle zeedieren gebruikt om hun schelp of skelet mee te vormen in een proces dat verkalking genoemd wordt. Naast de klassieke schelpdieren zijn ook koralen, heel wat micro-algen, inktvissen, (vleugel) slakken, tot zelfs kreeften aangewezen op calciumcarbonaat voor hun welzijn. Jonge dieren en dieren die aragoniet in plaats van calciet gebruiken, blijken doorgaans



■ Het grootste probleem van de verzuring van het oceaanoewater lijkt de afname van calciumcarbonaat (CaCO_3) te zijn. Omdat het chemisch evenwicht, onder invloed van verhoogde CO_2 - en H^+ ionen concentraties, verschuift naar meer bicarbonaat en minder carbonaat, blijft er te weinig van dit laatste element over voor kalkvormende organismen (Hoegh-Guldberg et al 2007)

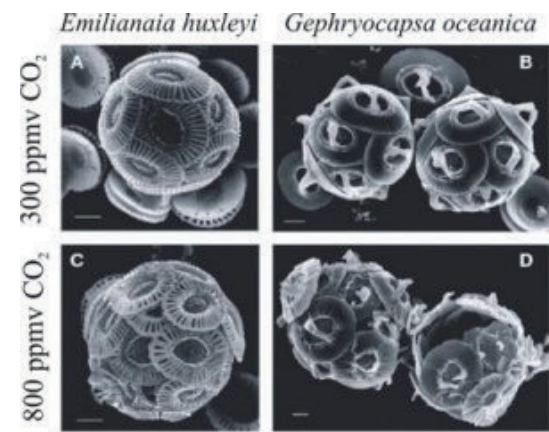


■ De toestand van koraalriffen: (A) bij CO_2 concentraties van 375 ppm (= als rond het jaar 2000) op Heron Island, (B) bij een concentratie van 450-500 ppm rond St-Bees Island en (C) bij een concentratie van >500 ppm, die volgens het VN Klimaatpanel al bereikt kan zijn tegen 2050, nabij Port Douglas (<http://www.sciencemag.org/content/318/5857/1737/F5.large.jpg>)

gevoeliger voor verzuring. Dit laatste komt omdat aragoniet minder stabiel is en een grotere oplosbaarheid heeft dan calciet. Omdat op grotere diepte de dalende temperatuur en toenemende druk de beschikbaarheid van calciumcarbonaat verder beperkt, zijn deze zones extra gevoelig. Bij verdere verzuring verwacht men dan ook dat kalkvormende organismen – zoals koudwaterkoralen – geleidelijk aan naar ondiepere zones zullen worden gedwongen.

Omdat elke diersoort anders gebouwd is en verschillend reageert op veranderende omstandigheden, kunnen weinig algemene effecten worden geduid. Toch zijn dit enkele van de via onderzoek gedane vaststellingen, in reactie op een lagere zeewater pH:

- **Koralen:** vertraagde groei en voortplanting, lagere overleving; hierdoor dreigen koraalriffen wereldwijd hun rol te verliezen als hotspots van biodiversiteit en duiktoerisme, als kweekkamers voor commerciële vissoorten en als buffers tegen stormen en erosie; koudwaterkoralen die op grote diepte kunnen groeien en afhankelijk zijn van aragoniet als bouwstof voor het kalkskelet, zijn extra gevoelig
- **Stekelhuidigen** (zeesterren, zee-egels, zeekomkommers,...): daling voortplantingssucces, abnormale skeletvorming; verlies van deze diergroep geeft een wezenlijk effect op de samenstelling van het zeeleven, bijvoorbeeld door verminderde predatie op groenwieren.
- **Weekdieren** (schelpen, [vleugel]slakken,



■ Op dit beeld zijn twee soorten coccolithoforen (*Emiliana huxleyi* en *Gephyrocapsa oceanica*) te zien bij twee verschillende concentraties van CO_2 : vrij normale waarden van 300 ppm en sterk verhoogde waarden van 800 ppm. Bij de sterk verhoogde CO_2 waarden zijn de kalkplaatjes waaruit deze micro-algen zijn opgebouwd, aangetast (http://theotherco2problem.files.wordpress.com/2009/11/coccolithophores_acid-798042.jpg)

inktvisen): vooral meer sterfte bij jonge individuen door oplossing van de schelp; dit heeft ernstige commerciële en ecologische gevolgen, en leidt tot een verstoring van het globale voedselweb en de voedselveiligheid.

- **Hoger genoemde en andere ongewervelde dieren, vissen en zeezoogdieren:** o.a. verhoogde sterfte, tragere ontwikkeling, verminderde activiteit en competitiviteit wat leidt tot kleinere populaties en een veranderende opbouw van het mariene ecosysteem. Ook heel wat indirecte effecten zijn te verwachten door veranderingen in het ganse ecosysteem

- **Plankton** (micro-algen zoals coccolithoforen): effect op kalkskeletvorming, overleving en bladgroenwerking; gevolgen kunnen heel ver reiken, gezien het uitzonderlijke belang van plantaardig plankton voor de zuurstofvoorziening op Aarde en als basis voor het zeevoedselweb. Coccolithoforen zijn overigens één van de belangrijkste planktonische groepen in zee. Hoewel ze microscopisch klein zijn, zijn ze vaak heel “zichtbaar”: (1) als na de bloei de kalkhuisjes komen bovendrijven vormen ze gigantische witte melkachtig uitzienende plassen op zee (zichtbaar uit de ruimte!); (2) het zijn de massaal afgezette kalkhuisjes van gigantische hoeveelheden fossiele coccolithoforen die vandaag de krijtrotsen van Dover en Cap Blanc-Nez vormen. Bovendien voeren ze, als ze sterven en zinken, heel wat koolstof af naar de diepten van de zee, koolstof dat zich dus voor langere tijd niet meer als CO_2 in de atmosfeer of ondiepe oceaan bevindt.

Effecten gaan verder dan ontkalking

Bij veel zeedieren zal de verzuring niet alleen een effect hebben op de verkalking, maar ook op de lichaamsbouw, het algemeen functioneren, de fysieke activiteit en de voortplanting. Het is dan ook te verwachten dat, als zowat de helft van alle zeedieren



■ Bij het Italiaanse eiland Ischia biedt het natuurlijk opborrelen van vulkanische CO_2 -rijke gassen uit de zeebodem nu reeds een blik op de toekomst. Zee-egels, koraalachtige algen en stenige koralen zijn bijna volledig verdwenen. Zeegrassen en bruine algen hebben net baat bij de toenemende CO_2 -gehaltes (Riebesell 2008)

en -planten een invloed dreigt te ondergaan, dit een wezenlijk effect zal hebben op het volledige mariene voedselweb en -ecosysteem. Bovendien kan verzuring niet als een alleenstaand gegeven worden gezien. Het zal een bijkomende druk uitoefenen, bovenop de reeds aanwezige impact van vervuiling, opwarming, overbevissing en andere stressfactoren. Een glimp van hoe de oceaan er in de toekomst mogelijk zal uitzien, kun je vandaag heel lokaal zien in zeegebieden die van nature reeds een verhoogd CO_2 gehalte hebben. Dit geldt voor kuststroken met een zeer hoge rivierinstroom of voor gebieden met vulkanische CO_2 -input. Deze gebieden tonen stevast een lagere biodiversiteit en een relatief hoog aantal ongewenste, opportunistische en invasieve soorten (zie foto boven).

De gevolgen van verzuring overtreffen soms de verbeelding. Zo heeft onderzoek aangetoond dat een verzurende oceaan wel eens wezenlijk lawaaiiger zou kunnen worden. Een pH-daling van 0,1 beïnvloedt immers het voorkomen van boorverbindingen – het zevende belangrijkste chemische atoom in zeewater – die op hun beurt de absorptie van lage frequentietonen in de oceaan mee sturen. Gevolg is dat geluid onder water gemakkelijker (met 5-70 %) zal worden verspreid en dat zingende walvissen straks misschien wel in een soort “onderwaterdisco” terechtkomen, met sterk toegenomen niveaus aan achtergrondgeluid. Dit heeft niet alleen biologische en gedragsmatige gevolgen voor het zeeleven (waaronder weefselschade, het aanspoelen van walvisachtigen en het verlies van gehoor in dolfinen). Er zijn ook implicaties te verwachten bij het gebruik van technische toepassingen op basis van geluidvoortplanting in de oceaan.

Maar zeker niet alles gekend...

Ondanks het vele onderzoek dat al is verricht, is het nog steeds erg moeilijk om de exacte gevolgen te kunnen begrijpen en voorspellen. Hoewel de grote lijnen zich aftekenen, botsen onderzoekers vaak op tegenstrijdige resultaten. Zo wordt bewezen dat koralen geen carbonaat (CO_3^{2-}) maar bicarbonaat (HCO_3^-) gebruiken bij de bouw van hun skelet. Hoe komt het dan dat ze problemen krijgen als dit bicarbonaat net meer voorhanden is/zal zijn? Of hoe valt te rijmen dat bepaalde onderzoeken naar coccolithofoeren tonen dat, in plaats van een verminderde groei, juist een snellere groei optreedt? Daarnaast blijken organismen soms ook in staat zich aan te passen. Kweekexperimenten hebben bij een bepaalde oestersoort en bij de coccolithofoor *Emiliania huxleyi* aangetoond dat de resistentie tegen verzuring kan toenemen. Ook mosselen zouden een systeem ontwikkeld hebben om hun interne pH te reguleren en hun cellen te beschermen met een extra laagje, maar enkel indien ze voldoende voeding krijgen. Het is dus mogelijk dat de natuur mee evolueert, al is daar voldoende tijd en energie voor nodig, wat er misschien niet zal zijn door de te snelle toename...

Vermoedelijk tonen deze bevindingen vooral aan dat nog veel niet gekend is, en dat het effect van verzuring speelt op velerlei niveaus. Eén ding is alvast zeker: oceaanverzuring zal niet ongemerkt voorbij gaan.

Eerste economische schade is een feit

Eén van de hoofdredenen dat het brede publiek en de politiek vandaag nog niet wakker liggen van de oceaanverzuring is dat de gevolgen op heden nog relatief beperkt zichtbaar zijn. Hoewel er reeds aanwijzingen zijn voor daadwerkelijke effecten op koraalriffen, zijn die alsnog eerder lokaal en beperkt in omvang. Toch mag verwacht worden dat de verzuring en de effecten op het voedselweb in zee de miljardenindustrie van visserij en duiktoerisme op termijn rake klappen zullen toedienen. Naar schatting miljoenen mensen zullen bedreigd worden door voedselonzeekerheid. Sterfte van de koraalriffen zal zijn gevolgen hebben voor toerisme, maar ook voor heel wat (commerciële) zeedieren die hier hun thuisbasis hebben. Bovendien beschermen deze riffen onze kuststroken tegen stormen en erosie. Tenslotte zal de CO_2 -opnamecapaciteit van de oceaan verder afnemen. Dat is slecht nieuws voor wie erop had gehoopt dat de oceaan ons een handje zou kunnen blijven toesteken. Geschat wordt dat dit ons jaarlijks nog eens 30-300 miljard EUR zal kosten.

Dat economische gevolgen van de oceaanverzuring ernstig dienen te worden genomen werd pijnlijk aangetoond in Tillamook. In dit dorpje aan de westkust van de Verenigde Staten, ontstonden in 2008 voor het eerst problemen bij de kweek van

Tsja, wij zijn daar niet tegen! Hebben we geen citroen meer nodig voor bij de oesters!



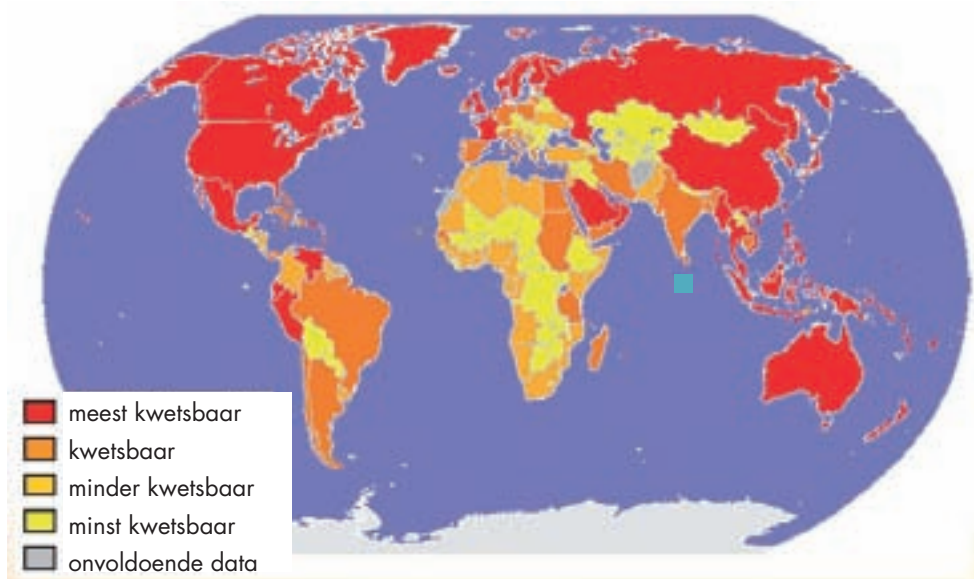
oesters. De larven stierven massaal en men dacht de oorzaak toe te kunnen schrijven aan de bacterie *Vibrio tubiashii*. Na het verdwijnen van *Vibrio* en een grondige schoonmaakbeurt hoopten de eigenaars dat het ergste leed geleden was. Helaas, de oesterkweek herstelde niet en men bleef met een mysterie zitten. Pas toen men pH-meeettoestellen ging plaatsen kon oceaanzuur als de schuldige worden aangewezen. Kennelijk ontstonden de problemen telkens wanneer bepaalde windomstandigheden een opwelling van diep en zuur water veroorzaakten. De overheid maakte daarop 500.000 US\$ vrij om verschillende oesterkwekerijen in de staat Washington te helpen met de opzet van een netwerk van detectoren. Met behulp van metingen van de zuurtegraad kon de spoeling van de opkweekbassins vervolgens zo worden ingepland dat de gevolgen minimaal waren. Vier jaar later stond het productieniveau terug op 80% en produceerden bepaalde kwekerijen zelfs meer dan voor het rampjaar 2008. De eerste economische impact van oceaanzuur was hiermee een feit...

Loontje komt om zijn boontje

De klimaatwijzigingen ten gevolge de uitstoot van CO₂ en andere gassen, treffen derdewereldlanden buiten elke proportie. Terwijl ze in verhouding veel minder hebben bijgedragen aan de schadelijke uitstoot, krijgen ze een groot aandeel aan hieruit volgende natuurrampen voorgeschoteld. Onrecht troef dus. Bij oceaanzuur, het “andere CO₂ probleem”, ligt het enigszins anders. De landen met de grootste uitstoot zullen volgens een analyse uitgevoerd door ‘Oceana’ ook het meest getroffen worden door de verzuring. In totaal zal meer dan een derde van de wereldpopulatie sterke nadelen van de verzuring ondervinden. Vooral landen die afhankelijk zijn van wat de zee te bieden heeft (de “oceaan ecosysteemdiensten”) dreigen te worden getroffen. België staat op de lijst van de meest kwetsbare landen voor oceaanzuur dan ook pas op de gaste plaats, veel gunstiger dan de buurlanden Frankrijk (2de), het Verenigd Koninkrijk (3de) en Nederland (4de). Elk van deze laatste drie landen scoort hoger voor wat betreft de grootte van zijn nationale vis- en schaaldierenvangst, de nationale per capita visconsumptie en het belang van koraalriffen in hun exclusieve economische zones. En hoe meer een land afhankelijk is van visvangst en koralen, hoe groter de impact van verzuring zal zijn en dus hoe groter hun kwetsbaarheid. Onze buurlanden scoren op zo goed als alle punten zeer hoog en verschillen vooral met België door de aanwezigheid van koraalriffen in overzeese gebieden en door hun massale visvangst.



■ Het Amerikaanse dorp Tillamook kende in 2008 voor het eerst grote problemen bij de opkweek van jonge oesters. Na uitgebreid onderzoek bleek dat het onder bepaalde weersomstandigheden van op grote diepte opgepompte zeewater té zuur was geworden onder invloed van de oceaanzuur (wikimedia)



■ Uit een analyse van Oceana blijkt dat de meest vervuilde landen, anders dan bij de klimaatopwarming, ook de grootste slachtoffers van oceaanzuur dreigen te worden (Harrould-Kolieb et al, 2009)

En nu aan de slag!

In wezen is de oplossing voor de oceaanzuur te herleiden tot het terugschroeven van de atmosferische concentraties aan CO₂ tot een aanvaardbaar niveau. In die zin is de remedie dus sterk gelijklopend met de aanpak van de klimaatwijziging. Daartegenover staat dat de effecten van oceaanzuur vandaag nog nauwelijks zichtbaar zijn en ook nog heel wat wetenschappelijke vragen oproepen. Hoewel oceaanzuur een proces is dat al 250 jaar aan de gang is, groeide de wetenschappelijke interesse voor het thema vooral tijdens de laatste tien jaar. Ondanks de geleverde inspanningen kunnen wetenschappers nog steeds niet met

zekerheid bepalen wat de gevolgen zijn, hoe de verzuring verder zal evolueren en wat de drempel is waarboven mariene ecosystemen niet meer kunnen herstellen.

Toch is het duidelijk dat ook voor het “andere CO₂-probleem”, tijdig anticiperen beter is dan genezen. We kunnen met zijn allen dus maar beter duurzamer gaan leven om ook voor de komende generaties een planeet achter te laten waar het aangenaam toeven is.



■ In 2009 werd in de Baltische Zee voor het eerst verzuringsonderzoek uitgevoerd gebruik makend van 'mesokosmossen'. Iedere kosmos stelt een afgebakende ruimte in de oceaan voor die de natuurlijke omstandigheden zo veel mogelijk benadert. Door de pH en het CO₂ gehalte te veranderen konden effecten bestudeerd worden van oceaanzuring op de organismen die er in voor kwamen (M.Nicolai - GEOMAR)

Bronnen

- Anoniem (2009). Scientific synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity. CBD Technical Series, 46: 16-20.
- A summary for policymaking from the second symposium on the ocean in a high-CO₂ world, Research priorities for ocean acidification.
- Blackford J.C. & F.J. Gilbert (2007). pH variability and CO₂ induced acidification in the North Sea. *Journal of Marine Systems* 64: 230.
- Currie D.E.J. & K. Wowk (2009). Climate change and CO₂ in the oceans and global oceans governance. *CCLR* 4, 387-404.
- Harrould-Kolieb E., M. Hirshfield & A. Brosius (2009). Major emitters among hardest hit by ocean acidification. *Oceana*.
- Hoegh-Guldberg O., P.J. Mumbrey, A.J. Hooten, R.S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, C.D. Harvell, P.F. Sale, A.J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C.M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R.H. Bradbury, A. Dubi & M.E. Hatzioles (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318: 1737-1742.
- Iglesias-Rodriguez M.D., P.R. Halloran, R.E.M. Rickaby, I.R. Hall, E. Colmenero-Hidalgo, J.R. Gittins, D.R.H. Green, T. Tyrrell, S.J. Gibbs, P. von Dassow, E. Rehm, E.V. Armbrust & K.P. Boessenkool (2008) Phytoplankton Calcification in a High-CO₂ World. *Science*, 320: 336-340.
- Ilyina T., R.E. Zeebe & P.G. Brewe (2009). Future ocean increasingly transparent to low-frequency sound owing to carbon dioxide emissions. *Nature geoscience* 719: 18-22.
- Inter-Academy Panel on International Issues (IAP) (2009). Statement on ocean acidification. <http://www.interacademies.net/File.aspx?id=9075>
- McCulloch M., J. Falter, J. Trotter & P. Montagna (2012). Coral resilience to ocean acidification and global warming through pH up-regulation. *Nature climate change*, 1473: 623-627.
- Riebesell U. (2008). Acid test for marine biodiversity. *Nature* 454: 46-47.
- Ruttimann J. (2006). Sick Seas. *Nature* 442: 978-980.
- Sabine C.L., R.A. Feely, N. Gruber, R.M. Key, K. Lee, J.L. Bullister, R. Wanninkhof, C.S.Wong, D.W.R. Wallace, B.Tillbrook, F.J. Millero, T.H. Peng, A. Kozyr, T. Ono & A.F. Rios (2004). The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science* 305: 367-371.
- <http://www.climat.be/spip.php?rubrique1>
- http://shadow.eas.gatech.edu/~kcobb/ocean_acid/McCulloch%20et%20al%202012.pdf
- http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_nl.htm
- <http://www.ocean-acidification.net>